

КОГДА РУШИТСЯ ЗЕМНАЯ ТВЕРДЬ

Чуйское землетрясение Горного Алтая



ВЫСОЦКИЙ Евгений Михайлович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Область научных интересов: геоморфология, новейшая и современная тектоника, использование геоинформационных технологий в науках о Земле. Участник геологических экспедиций на Горный Алтай, Саяны, Монголию, Тянь-Шань



НОВИКОВ Игорь Станиславович — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Область научных интересов: геоморфология, неотектоника, морфотектоника, сейсмогеология, геоинформационные системы. Работал в горных массивах юга Сибири, в Восточной Сибири и Монголии



АГАТОВА Анна Раульевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Область научных интересов — гляциальная геоморфология, неотектоника, четвертичная геология. Работала в Горном Алтае, Восточном Саяне, Казахстане

«**С**ильные землетрясения 2003 года, произошедшие на территории, прежде являвшейся относительно спокойной, грянули буквально как гром среди ясного неба... По данным Геофизической службы СО РАН только с 27 сентября по 15 октября произошло 77 сейсмических событий с M_s (магнитудой) $>3,5$, причем у трех наиболее сильных она составила 7,3; 6,7 и 6,3 соответственно. Они вызвали сотрясения силой 4 балла на удалении до 1 тыс. км от эпицентра. Толчки, ощущавшиеся в крупных городах Алтайского края, Кемеровской и Новосибирской областей и в Восточном Казахстане, вызвали панику среди населения. Всего в пределах зоны активизации произошло уже более двух тысяч сейсмических толчков, и процесс, постепенно затухая, все еще продолжается» (Новиков и др., 2005).

Примеры сильных землетрясений Горного Алтая и сопредельных территорий за историческое время (по Молнар и др., 1995, с дополнением данных Геофизической службы СО РАН)

№	Год	Широта	Долгота	Магнитуда	
1	1761	47,5	91,8	8,3	Монгольское
3	1877	43,0	104,5	6,5	Номгонское
5	1902	50,7	91,3	6,6	Цаган-Шибетинское
7	1903	43,4	104,4	7,5	Унэгэтинское
16	1915	44,8	101,5	6,5	Богабогдинское 2
19	1923	49,8	87,7	6,0	Чуйское 1
20	1931	46,9	90,0	8,0	Монголо-Алтайское
25	1938	49,5	90,3	6,6	Ачитнурское
28	1957	45,1	99,4	8,1	Гоби-Алтайское
31	1958	45,1	98,4	6,9	Баян-Цаганское
33	1970	50,2	91,3	7,0	Урегнурское
34	1974	45,0	94,2	6,9	Тахийншарское
35	1975	46,8	91,5	6,0	Булганское
38	2003	50,0	88,0	7,3	Чуйское 2

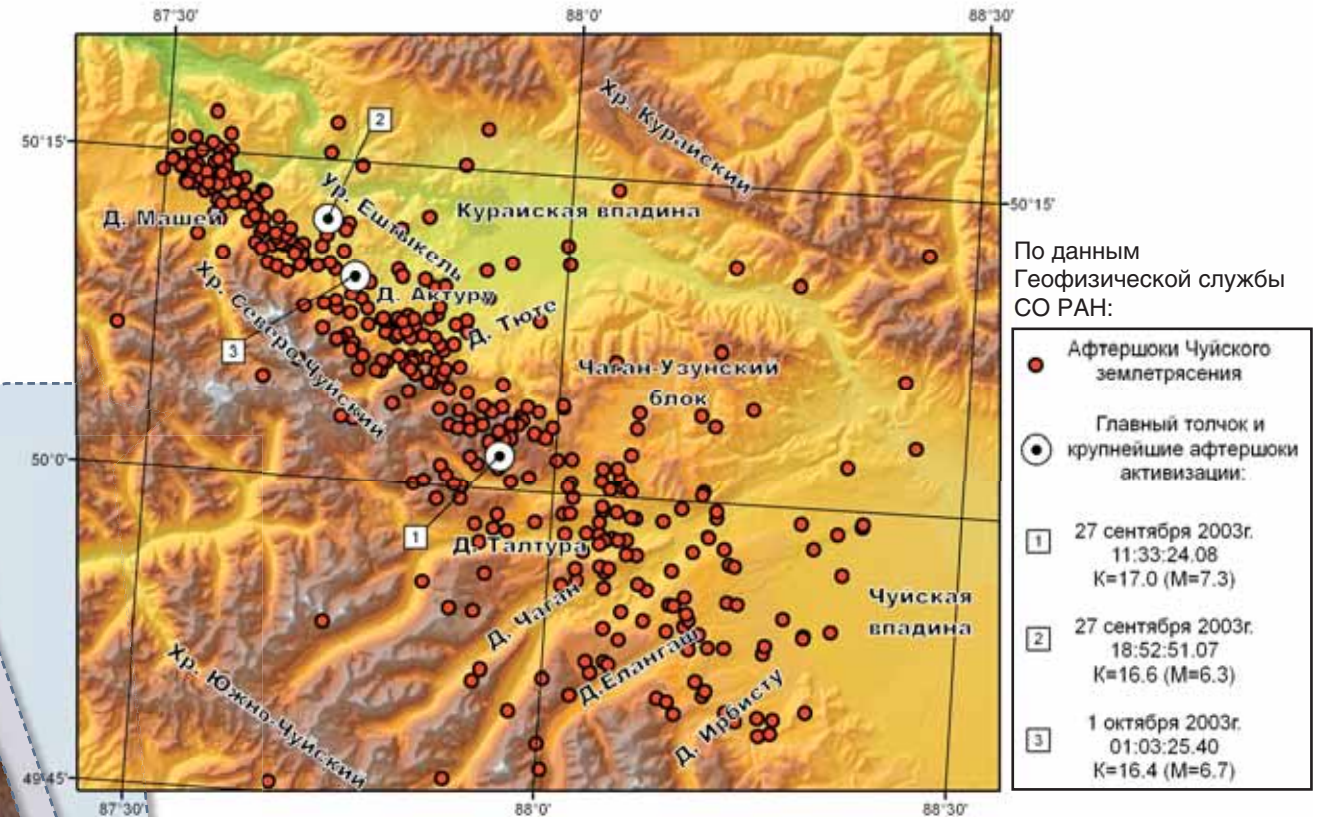
Существует оценка силы землетрясения, имеющая наиболее понятный физический смысл. Это десятичный логарифм энергии, выделяющейся в очаге землетрясения, в джоулях (К). Например, при Чуйском землетрясении выделилось 10^{17} Дж, то есть оно имеет 17 энергетический класс. Значения магнитуды (M_s) и энергетического класса (К) связаны между собой простой формулой (для Центральной Азии — $K=1,8M_s+4$).
Еще одна мера энергии, используемая обычно для обозначения мощности ядерных боеприпасов, — тротиловый эквивалент, то есть количество тринитротолуола, при взрыве которого выделяется данное количество энергии. Эта характеристика, которая в сейсмологии не используется, очень наглядна при сравнении мощности разных землетрясений

Энергетический класс (К)	Тротиловый эквивалент (весовой)	Магнитуда	Интенсивность сотрясения поверхности (баллы)
3	10г		
5	100г		
6	1кг	1,1	
7	10кг	1,6	
8	100кг	2,2	
9	1000 кг (1т)	2,7	
10	10т	3,3	2
11	100т	3,8	2-3
12	1000т (1Кт)	4,4	4-5
13	10Кт*	5,0	5-6
14	100Кт	5,6	6-7
15	1000Кт (1Мт)	6,1	7-8
16	10Мт	6,7	8-9
17	100Мт**	7,2 (Чуйское землетрясение Алтая 2003 г.)	9-10
18	1000Мт (1Гт)	7,8	11-12
19	10Гт	8,3 (Гоби-Алтайское землетрясение 1957 г.)	12
20	100Гт	8,9 (землетрясение Юго-Восточной Азии 2004 г.)	На суше никогда не происходили

*Атомная бомба, уничтожившая Хиросиму: 20 Кт

**Самое мощное из взорванных ядерных устройств (водородная бомба, испытанная на Новой Земле): 60—70 Мт

НИ ОДИН человек НЕ ПОГИБ в результате Чуйского землетрясения, в отличие от подавляющего большинства других сильных сейсмических событий в разных уголках Земли



У далекого от сейсмологии читателя этот фрагмент текста вызовет ряд вопросов: «Что это за баллы, в которых измеряется сотрясение поверхности? Что такое магнитуда, как она измеряется?». Путаницы добавляют и сообщения СМИ наподобие: «Произошло землетрясение силой столько-то баллов». Сейсмолог так никогда не скажет.

В баллах измеряют не саму силу землетрясения, а *интенсивность сотрясения земной поверхности*. Эта

шкала похожа на метеорологическую шкалу волнения моря, в которой 1 балл соответствует полному штилю, а 12 — урагану. По шкале сотрясения поверхности 12 баллов — настоящая сейсмическая катастрофа, которую не выдерживают не только искусственные сооружения, но даже горы: происходят огромные обвалы и смещение отдельных горных вершин. Зоны поверхностных разрывов при таких сотрясениях простираются на сотни километров, а смещение по разрывам достигает десятков метров.

К счастью, подобные сотрясения земной поверхности возможны лишь в эпицентрах чрезвычайно редких катастрофических землетрясений, каких на территории бывшего СССР за историческое время ни разу не случилось. За последние 50 лет в непосредственной близости от наших границ произошло всего одно такое событие — Гоби-Алтайское землетрясение (1957 г.).

Что касается *магнитуды*, то она как раз и является мерой измерения силы землетрясения. Измерять этот параметр в условных единицах предложил в 1935 г. знаменитый американский сейсмолог Ч. Ф. Рихтер. Магнитуда рассчитывается как десятичный логарифм отношения мак-



На Белом Боме с нависающих скальных стенок слетели обломки плотных известняков размером до 3—4 м, не задев, к счастью, ни одну из проезжающих там машин (фото слева). Жители зимника в долине р. Талдуры успели выскочить из своего дома, перед тем как он был раздавлен огромным камнем, скатившимся со склона (фото внизу)



Сейсморазрывы в п. Бельтир. Октябрь 2003 г.

ной амплитуды сейсмических волн к амплитуде волн эталонного землетрясения. Магнитуды самых мощных сейсмических катаклизмов приближаются к 9 (например, землетрясения в Юго-Восточной Азии 2004 г., вызвавшего катастрофическое цунами).

Следует отметить, что шкала сотрясений поверхности не связана напрямую с энергией и амплитудой сейсмических волн, проходящих через местность. Интенсивность сотрясений сильно зависит от геологического строения участка: на скальных грунтах они слабее, а на рыхлых и обводненных — сильнее, причем разница может достигать 2 баллов. Так, сейсмическая волна от Чуйского землетрясения Алтая вызвала на территории г. Новосибирска сотрясения силой от 2 до 4 баллов. Первые население попросту не заметило, при вторых — в панике выбежало на улицы.

Повезло...

С сожалением вспоминая возникшие вокруг Чуйского землетрясения спекуляции с «гневом богов», мы, как геологи, можем с уверенностью сказать, что высшие силы были весьма милостивы к людям на этот раз. Особенность этого землетрясения — в отсутствии привкуса трагедии, как правило, отравляющего изучение

последствий сильного сейсмического события.

Ни один человек в пределах Горного Алтая не стал жертвой Чуйского землетрясения. Это объясняется во многом малой плотностью населения, сосредоточенного в небольших поселках сельского типа, состоящих исключительно из сейсмостойких деревянных зданий.

Конечно, имела место и серия счастливых случайностей, поскольку эпицентры толчков оказались удалены от поселков с большими несейсмостойкими общественными зданиями, таких как Акташ или Кош-Агач. Кроме того, в конце сентября по Чуйскому тракту уже не шел поток автомашин туристов. В тот субботний вечер, когда началось землетрясение, тракт был практически пуст и летящие обломки скал не сбили ни одной машины.

Нужно отметить, что землетрясение произошло в пределах полигона Геофизической службы СО РАН, развернутого здесь годом ранее, так что по полноте и точности полученных геофизических данных оно не имеет себе равных в ряду других подобных событий.

В целом же Чуйское землетрясение по силе и по характеру геологических проявлений считается «нормальным» сильным землетрясением, подобные которому неоднократно отмечались в прилегающих частях Монгольского Алтая на протяжении последних 100 лет.

Для Горного Алтая за период инструментальных наблюдений (да и вообще за обозримое историческое время) землетрясение 27 сентября 2003 г. стало сильнейшим. Однако, судя по следам древних землетрясений, события такой силы в этом регионе повторяются каждые 1—3 тыс. лет (Рогожин, Платонова, 2002). Если эти оценки верны, то следующего землетрясения здесь придется ждать еще очень долго.

Поэтому изучение геологических эффектов Чуйского землетрясения в пределах юго-восточной части Горного Алтая, с его специфическими условиями (сложным строением палеозойских толщ, сочетанием альпийских горных хребтов с равнинными впадинами, широко распространенной вечной мерзлотой и т. д.) представляется важной задачей. Оно не только дает ключ к пониманию процессов данного



При Чуйском землетрясении проявился практически полный ряд возможных сейсмогидрологических явлений. В зоне сотрясений в 5—6 баллов (пойма р. Чуя) можно было наблюдать грязевые вулканы 1—2 м в диаметре и трещины с грязевыми выбросами. В долине р. Чаган (зона 9—10 балльных сотрясений) встречались «жерловые» выбросы кусков дерна с образованием грязевых конусов до 10 м в диаметре и мощные фонтаны грунтовых вод из впечатляющих трещин длиной до 150 м и шириной до 6 м

сейсмического события, но и позволяет впервые корректно «опознать» многочисленные характерные объекты Юго-Восточного Алтая, традиционно воспринимаемые как следы древних землетрясений. На основе результатов исследования возможно проведение детального сейсмического районирования, чтобы свести к минимуму ущерб от будущих сильных землетрясений, неизбежных в таких регионах, как Горный Алтай.

Глазами очевидцев

Постепенно затухая, сейсмическая активность продолжается на Горном Алтае уже более двух лет, все реже и реже давая о себе знать сильными подземными толчками. Случись любой из них несколькими годами раньше, он стал бы темой для обсуждения в профессиональных кругах, но теперь, когда их счет идет на десятки, они воспринимаются как вполне рядовое явление.

Объем данных, полученных сейсмологами, огромен — пока опубликованы только предварительные результаты (Еманов и др., 2004). Мы же остановимся лишь на геологических проявлениях сильных подземных толчков, по которым можно, независимо от собственно сейсмологических данных, определить пространственное

положение разлома и характер смещения по нему, приведший к землетрясению.

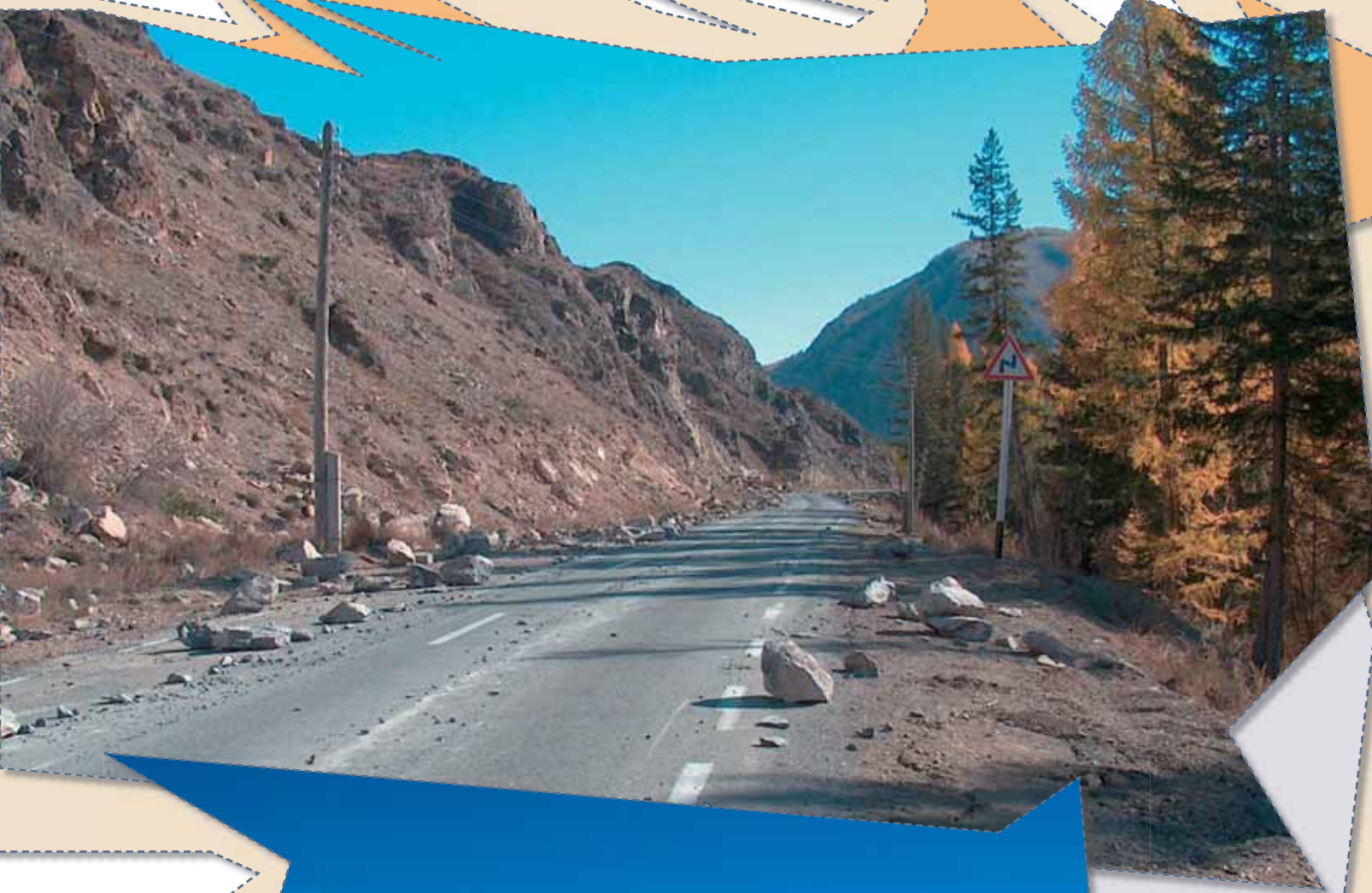
По счастливому (для геологов) стечению обстоятельств авторы, возвращаясь из экспедиции в Монголию, оказались в зоне первых 7—8 балльных сотрясений Чуйского землетрясения. Первый толчок практически не заметили, подпрыгивая на выдавшем виды УАЗе на ухабах в районе Курая. Однако уже через 10 минут, когда спустившийся к Чуе тракт оказался усыпан обломками скал, осознали грандиозность случившегося.

Лавируя между камней, мы лишь через час добрались до Акташа, погруженного во тьму осенней ночи. Светились лишь фонари в погранотряде, где работали автономные генераторы, да костры, которые развели во дворах местные жители. В течение нескольких последующих дней они, ощущая постоянные подземные толчки, предвараемые низким гулом, боялись заходить в дома. Первую же ночь, когда шел снег, все провели во дворах или на вертолетной площадке, подальше от склонов.

Авторам, оказавшимся единственными геологами на весь район, весь долгий вечер пришлось читать лекции в гостинице между Акташем и Чибитом, пока силы Земли весьма убедительно показывали нашу абсолютную беспомощность и брэнность. Наутро, оценив обстановку и заехав на сейсмостанцию Геофизической службы СО РАН, мы решили продолжить путь в Новосибирск, не сомневаясь в своем скором возвращении. И, действительно, через несколько дней наш хорошо снаряженный отряд в районе эпицентра первого, самого

сильного, толчка приступил к изучению так называемых *сейсмодислокаций* — форм рельефа, возникших в результате землетрясения.





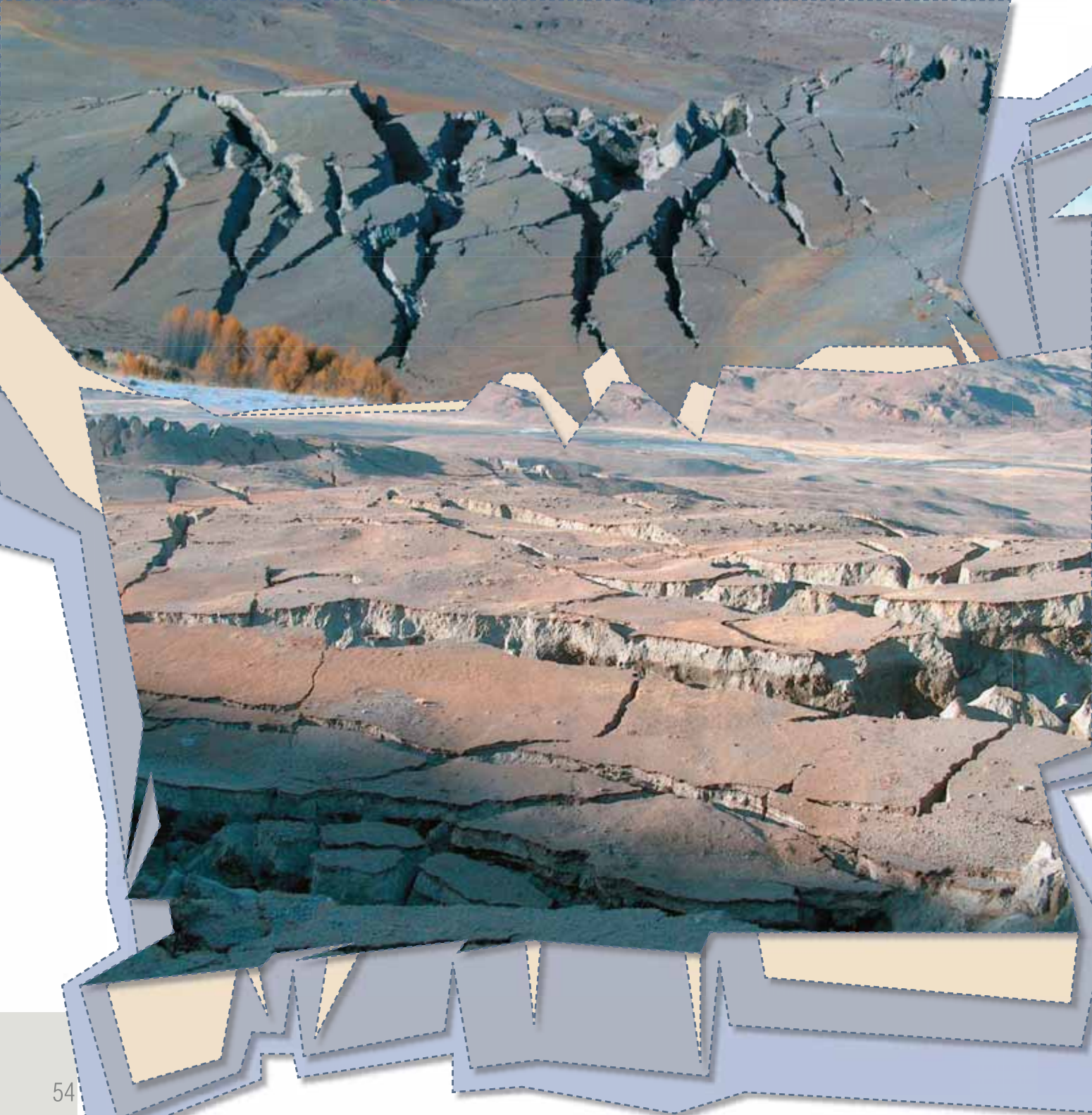
«Оживление» осыпей, крупные и мелкие камнепады произошли на большой территории. Эти явления были бы не столь масштабны, если бы в результате взрывов при прокладке трассы в скалах не появилось много трещин, а склоны не были бы подрезаны дорожными выемками. Однако уже утром 28 сентября дорожные службы расчистили Чуйский тракт, сбросив мелкие камни и раздвинув крупные валуны для проезда автомашин (фото слева сверху)

На фото слева внизу — облако пыли, поднятое при осыпании ледниковых отложений в долине Чагана, после одного из многочисленных афтершоков ($M=3.9$). 4 октября 2003 г.

Памятники землетрясениям

Помимо разрушения искусственных сооружений, сейсмические волны сильных землетрясений порождают множество геолого-геоморфологических эффектов разного масштаба и происхождения.

Сейсмогидрологические явления возникают в результате прохождения сейсмических волн через рыхлые толщи с водоносными горизонтами, расположенными близко к поверхности. В общем смысле они являются следствием своеобразного «схлопывания» этих слоев в результате сейсмического удара. В результате грунтовые воды, захватывая мельчайшие частицы глины и песка, фонтанируют либо через разрывы поверхности (единичные или образующие структуру «битой тарелки»), либо через небольшие отверстия, формируя «грязевые вулканы» (*грифоны*).



Для подобных явлений характерен наибольший ореол распространения. Они отмечаются в областях поверхностных сотрясений 6 и более баллов, а в районах с благоприятной гидрогеологической обстановкой (особенно в районах распространения многолетней мерзлоты) — даже при 4–5 баллов. Эти небольшие по размерам следы землетрясений, исчезая в течение нескольких лет, не имеют решающего значения для определения интенсивности землетрясения.

Вторая группа — **сейсмогравитационные явления**. В условиях сложного рельефа сотрясение земной поверхности усиливает процессы на горных склонах. В самых простых случаях происходит всплеск движения осыпей, которое уже через несколько лет сложно заметить.

Другим характерным случаем является отрыв крупных скальных обломков (до 10–20 м³), которые буквально в несколько «прыжков» достигают дна долины. Скатившись вниз, такие обломки сохраняются на дне долин тысячи лет, оставаясь важными свидетельствами



Во время первого толчка произошло грандиозное сейсмогравитационное событие. Участок крутого склона ледниковой долины р. Талдуры площадью около 1 км² и толщиной более 30 м обрушился вниз по склону более чем на 100 м. Этот обвал стал еще одной достопримечательностью Горного Алтая, доступной туристам

ми древних землетрясений. Более редким, но также распространенным случаем является скатывание по склону крупных блоков рыхлых (обычно ледниковых) отложений, скованных вечной мерзлотой. После того как растает скрепляющий их ледяной «цемент», они превращаются в груды валунов с галькой, песком и глиной на дне долин.

В зоне 7–8 балльных сотрясений на склонах, покрытых толстым слоем рыхлых отложений, часто происходит отрыв части склонового чехла и его оползание. Образовавшиеся на склоне трещины исчезают через несколько десятков лет. В случае достаточной обводненности склонов такие трещины могут впоследствии провоцировать развитие оползней.

В случаях 9–10 балльных сотрясений даже на склонах умеренной крутизны часто происходят грандиозные обвалы горных пород. Такие обвалы имеют крупные размеры, долго сохраняются в рельефе и являются надежным индикатором эпицентральных областей древних сейсмических событий.

Сейсмогенные разрывы образуют наиболее интересную для геолога группу геологических явлений, будучи проекцией плоскости самого сейсмогенерирующего разлома на поверхность, а в случае 11–12 балльных сотрясений представляют собой и сам выход этого разлома на поверхность (как при Гоби-Алтайском землетрясении 1957 г.). Последние происходят обычно при сдвигах крупных блоков земной коры по разлому в условиях общего регионального сжатия, тогда как в режимах растяжения энергия обычно расходуется в многочисленных, более мелких сейсмических событиях.

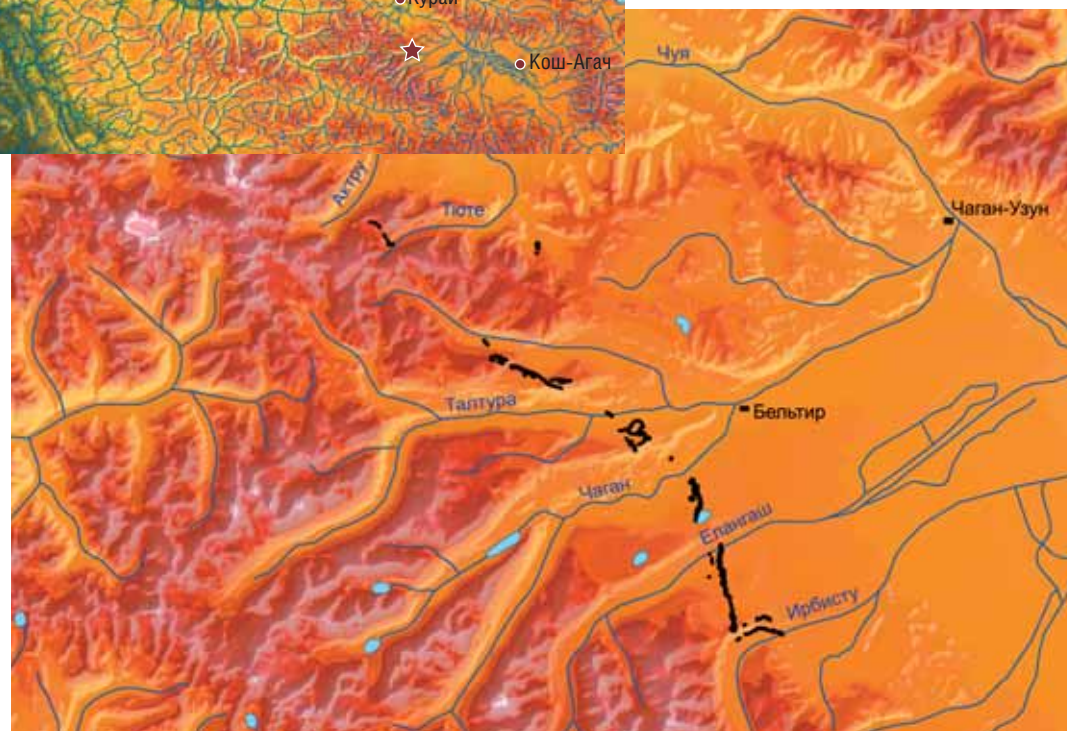
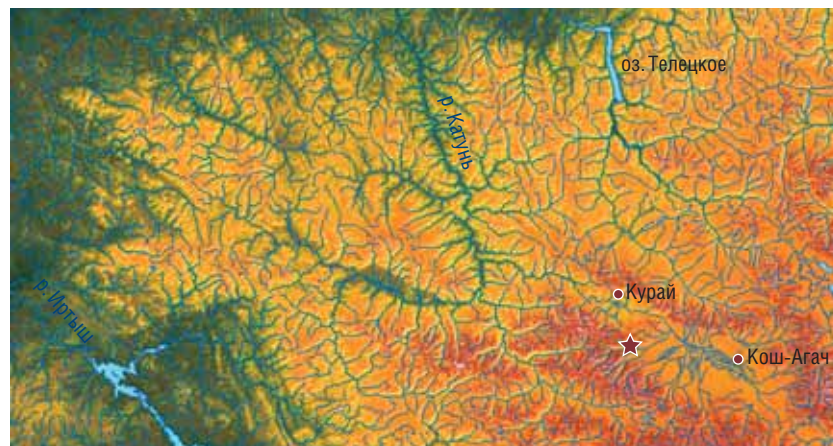
По времени жизни сейсмогенные разрывы хотя и уступают сейсмообвалам, но все же сохраняются на возвышенностях в засушливом климате Центральной Азии в течение тысяч лет, служа основными индикаторами разломов и центров древних землетрясений.

Зона сейсмогенных разрывов Чуйского землетрясения — не один сплошной разрыв. Образно говоря, это следы не меча, но пулеметной очереди. Причина тому — мощность землетрясения, недостаточная для того, чтобы на поверхность Земли вышла сама «плоскость разлома». Мы увидели лишь образованные на ее краю разрывы или, как говорят геологи, «оперяющие трещины», образовавшие закономерный структурный рисунок.

Исследования первого за весь исторический период катастрофического землетрясения Горного Алтая позволили описать весь комплекс поверхностных последствий крупного сейсмического события в конкретных геолого-геоморфологических условиях. Это служит надежной основой для продолжения здесь детальных палеосейсмогеологических работ с целью уточнения уже существующих карт сейсмической опасности.

Область поверхностных деформаций вследствие Чуйского землетрясения расположена на продолжении протягивающихся из Монголии крупных разломов, которые на территории Горного Алтая веерообразно расщепляются, формируя сложный тектонический рисунок (Высоцкий и др., 2004). Зона сейсморазрывов в общей сложности составляет 48 км. Полоса нарушений представлена пятью участками протяженностью 2—6,3 км

В области максимальных, 9—10 балльных сотрясений отдельные сейсмогенные разрывы достигали нескольких сотен метров в длину и пяти-шести метров в ширину. Их глубина, которую можно было оценить по времени свободного падения брошенного предмета, составляла более 30—40 м. Спустя полтора года после землетрясения глубина зияния трещин сократилась до 3—5 м. Одновременно увеличилась их ширина за счет обваливания бортов при протаивании мерзлоты



В публикации использованы фотографии Е. Высоцкого